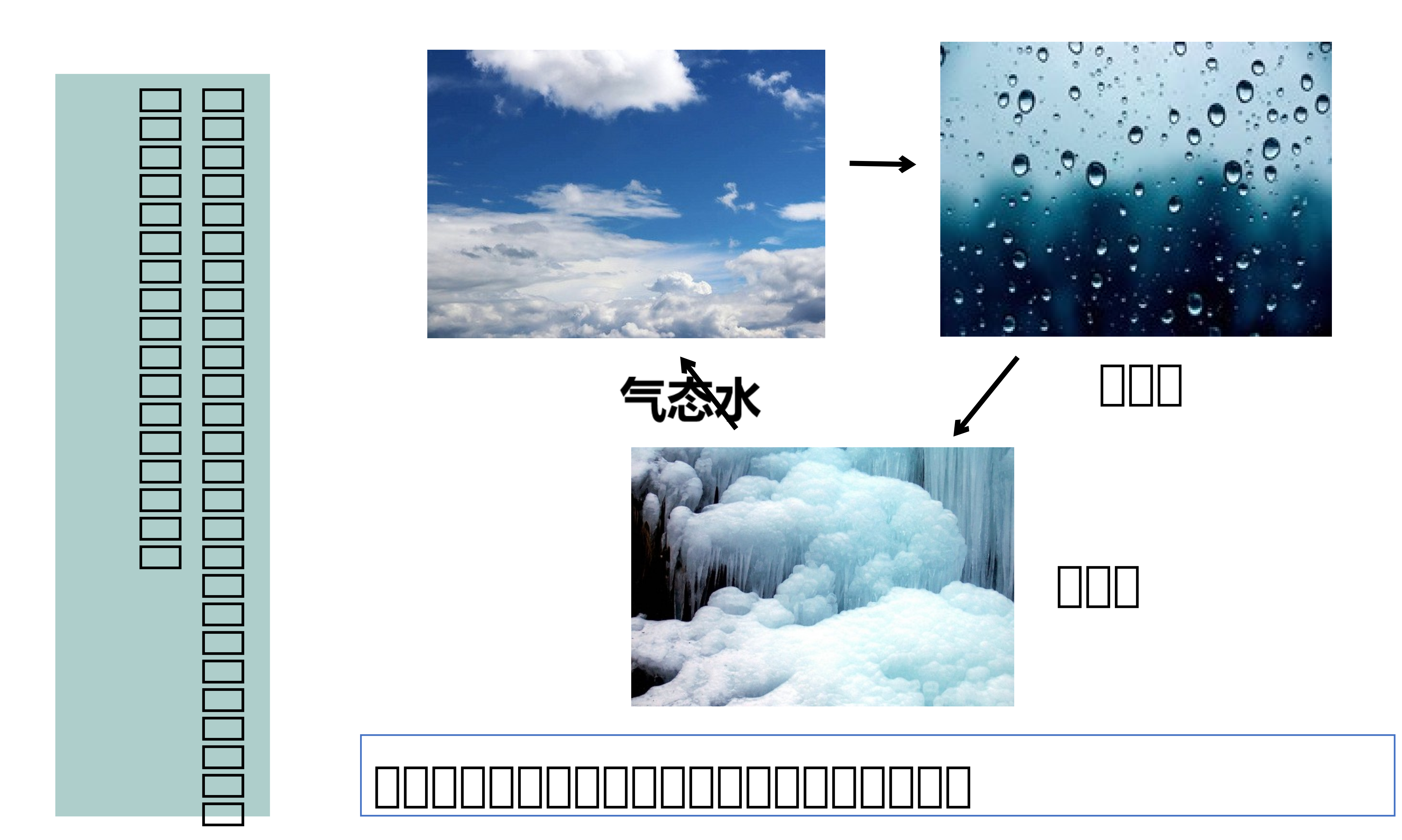
第三节 分子的结构与物质的性质

第二课时

了解范德华力的实质及对物质性质的影响。

熟悉两种常见的分子间作用力 ：范德华力和氢键 ；了解分子内氢键和分子间氢键在自然

中的广泛存在及重要作用 ，培养宏观辨识与微观探析的核心素养。


气态水

范德华是最早研究分子间普遍存在作用力的科学家，因而把这类分子间作用力称为范德华力。

分子间的力
- 分子间作用力（范德华力）
- 比较强的分子间作用力（氢键）

J.D.Van der Waals,1837-1923

四、分子间的作用力

I. 范德华力（分子间作用力）

(1) 定义:

把分子聚集在一起的作用力（普遍存在于固体、液体和气体分子间的作用力）

本质：是分子之间的一种静电作用。

(2) 存在:

分子

大多数共价化合物，例如:

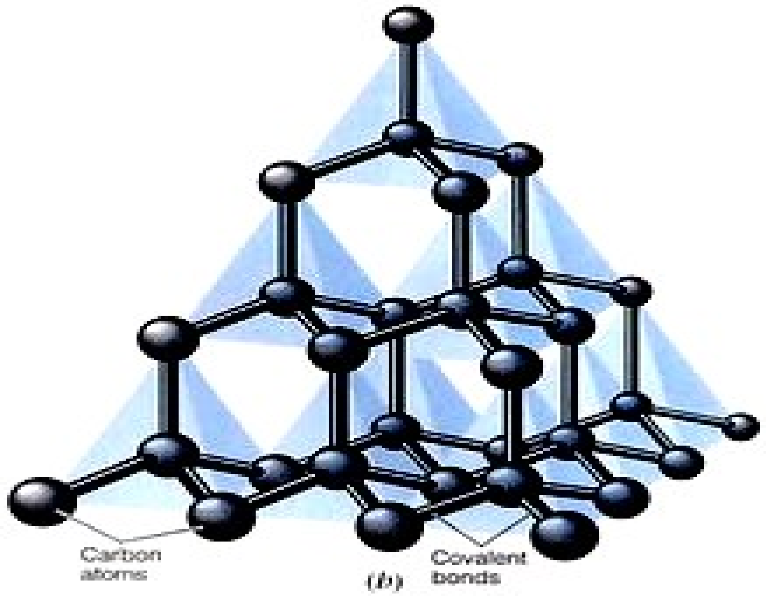
1. CO_2 、H_2SO_4 、HF, H_2O, $AlCl_3$ 、各种有机化合物等等;

2. 大多数非金属单质，例如:

H_2 、P_4 、S_8 、C_{60} 、

3. 各种稀有气体（例如 Ar 、Kr ），等等

金刚石 (C) 、单质硅 (Si) 内部只有共价键，不存在分子



(3) 特点：（与共价键的区别）

对比下表，你对范德华力和键能的大小有怎样的认识?

分子	Ar	CO	HI	HBr	HCl
范德华力 /kJ·mol^{-1}	8.50	8.75	26.00	23.11	21.14
共价键键能 /kJ·mol^{-1}	无	745	298.7	366	431.8

结论：范德华力不是化学键，是一种分子间的力范德华力很弱，比化学键的键能小 **1 ～ 2** 个数量级。

(4) 方向:

无饱和性和方向性

短程力，近距分子间才比较明显

(5) 影响因素

分子	Ar	CO	HI	HBr	HCl
分子量	40	28	128.5	81.5	36.5
范德华力 (kJ/mol)	8.50	8.75	26.00	23.11	21.14

② 分子极性越大，范德华力越大

① 组成结构相似的分子，
相对分子质量越大，范德华力越大。

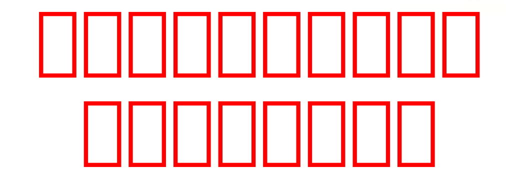
(6) [illegible]

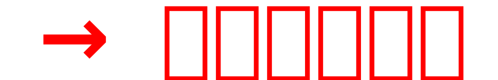
[illegible]

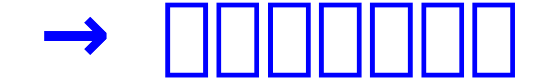
[illegible]

表 2-8　卤素单质的熔点和沸点

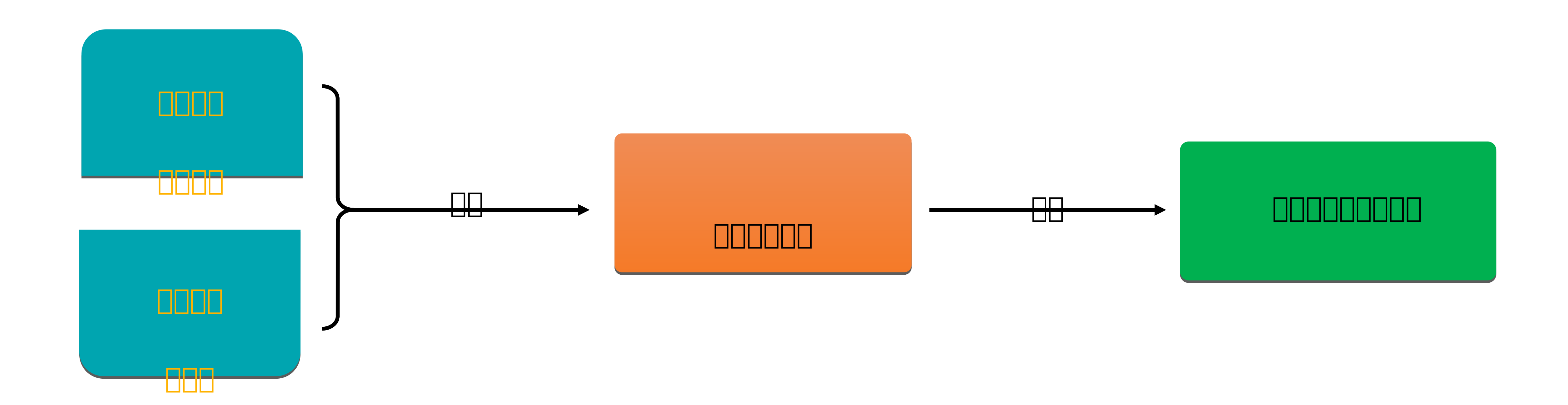
单质	熔点 / ℃	沸点 / ℃
F_2	–219.6	–188.1
Cl_2	–101	–34.6
Br_2	–7.2	58.78
I_2	113.5	184.4





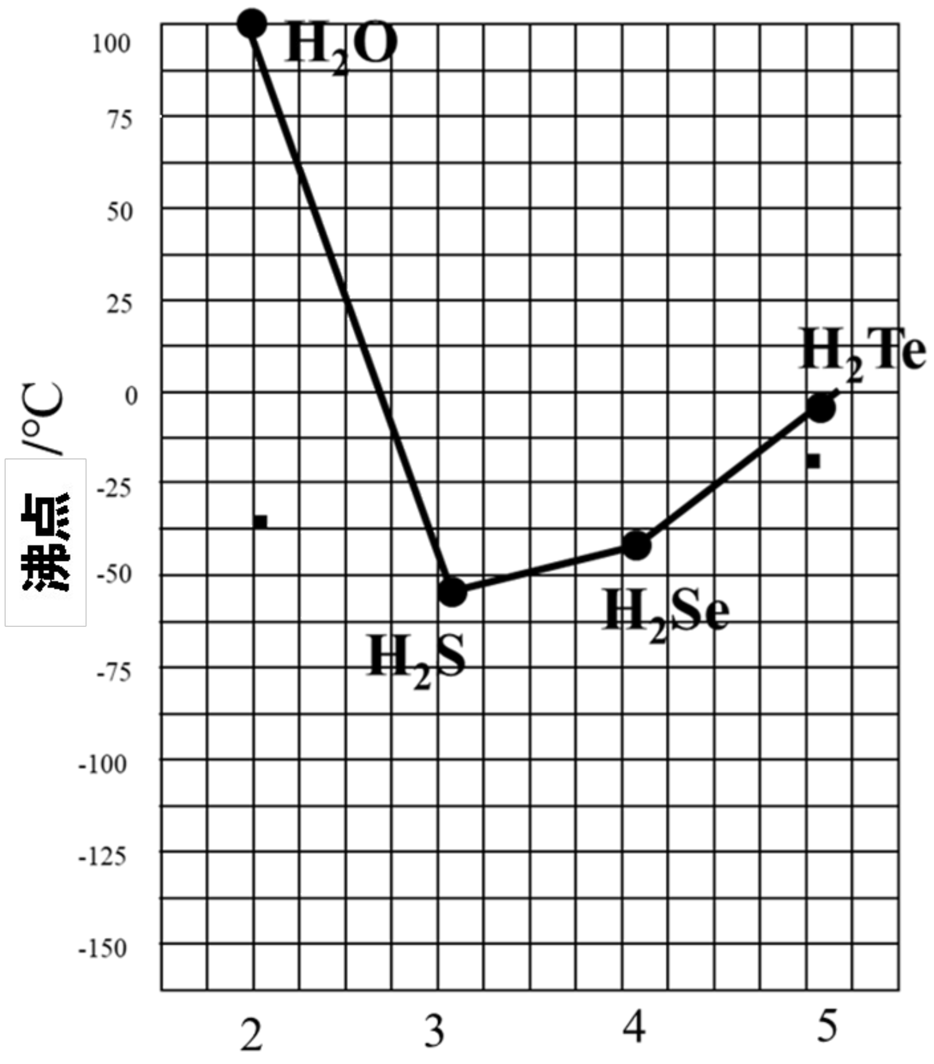


[illegible]	N_2	CO
[illegible]	28	28
[illegible]	-209.86°C	-205.1°C
[illegible]	-196°C	-191.5°C



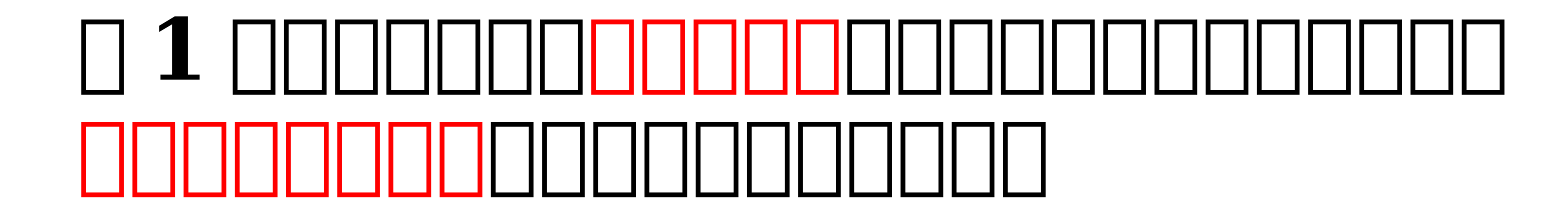
观察第 **VIA** 族元素的氢化物的沸点相对大小，思考：为什么 H_2O 的相对分子质量比 H_2S 的小，而沸点比 H_2S 的高得多?

- 水分子的 **O-H** 中，共用电子对强烈的偏向 **O** ，使得 **H** 几乎成为“裸露”的质子，其显正电性，它能与另一个水分子中相对显负电性的 **O** 的孤电子对产生静电作用，大大加强了水分子之间的作用力，使水的熔、沸点较高。



II.氢键
（1）定义：已经与电负性很强的原子形成共价键的氢原子与
另一个电负性很强的原子之间形成的作用力

①表示方法：X—H…Y
X、Y为N、O、F
②实质：分子间的静电作用，不属于化学键 ③形成条件：X、Y的电负性大且半径小的原子，为N、O、F之一



（2）强度

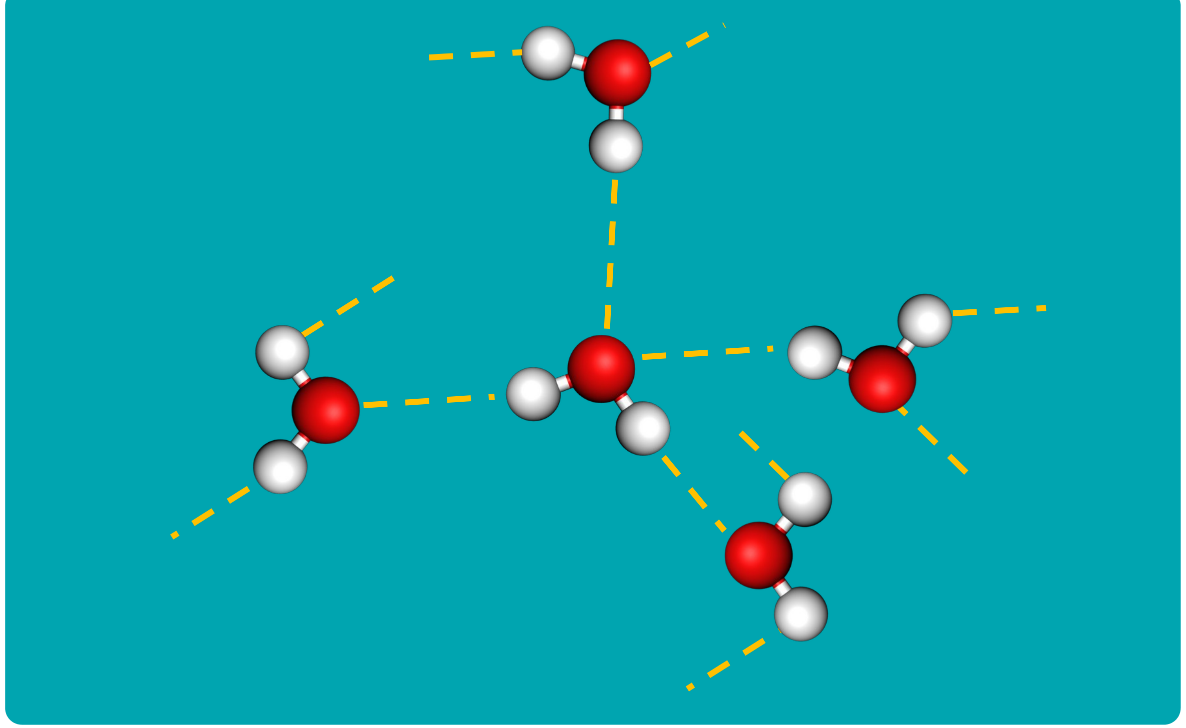
	共价键键能 (kJ·mol^{-1})	范德华力 (kJ·mol^{-1})	氢键 (kJ·mol^{-1})
冰	462.8	23.11	26.00

氢键比化学键的键能小 1 ~ 2 个数量级，但比范德华力强。

强度：化学键 ＞ 氢键 ＞ 范德华力

（3）方向:

氢键具有方向性和饱和性，但本质上与共价键的方向性和饱和性不同。

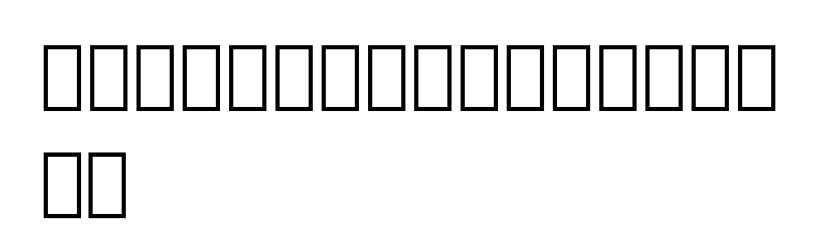


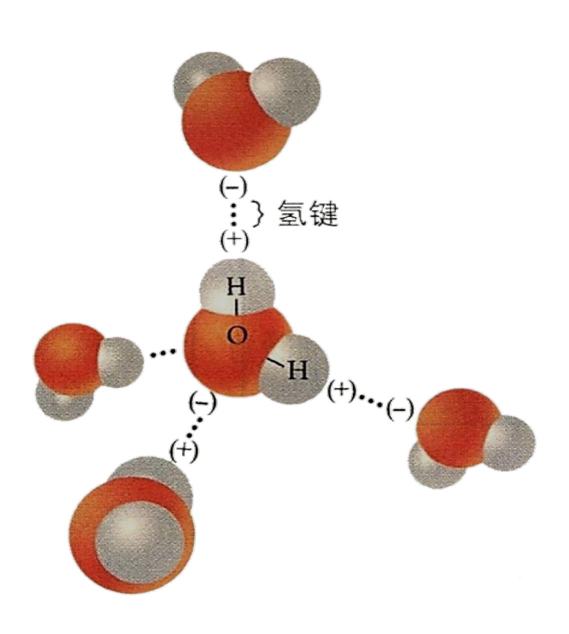
方向性

A—H…B 三个原子一般在同一方向上。原因是在这样的方向上成键两原子电子云之间的排斥力最小，形成的氢键最强，体系最稳定

饱和性

每一个裸露的氢原子核只能形成一个氢键，原因是 **H** 原子半径很小，再有一个原子接近时，会受到 **A**、**B** 原子电子云的排斥

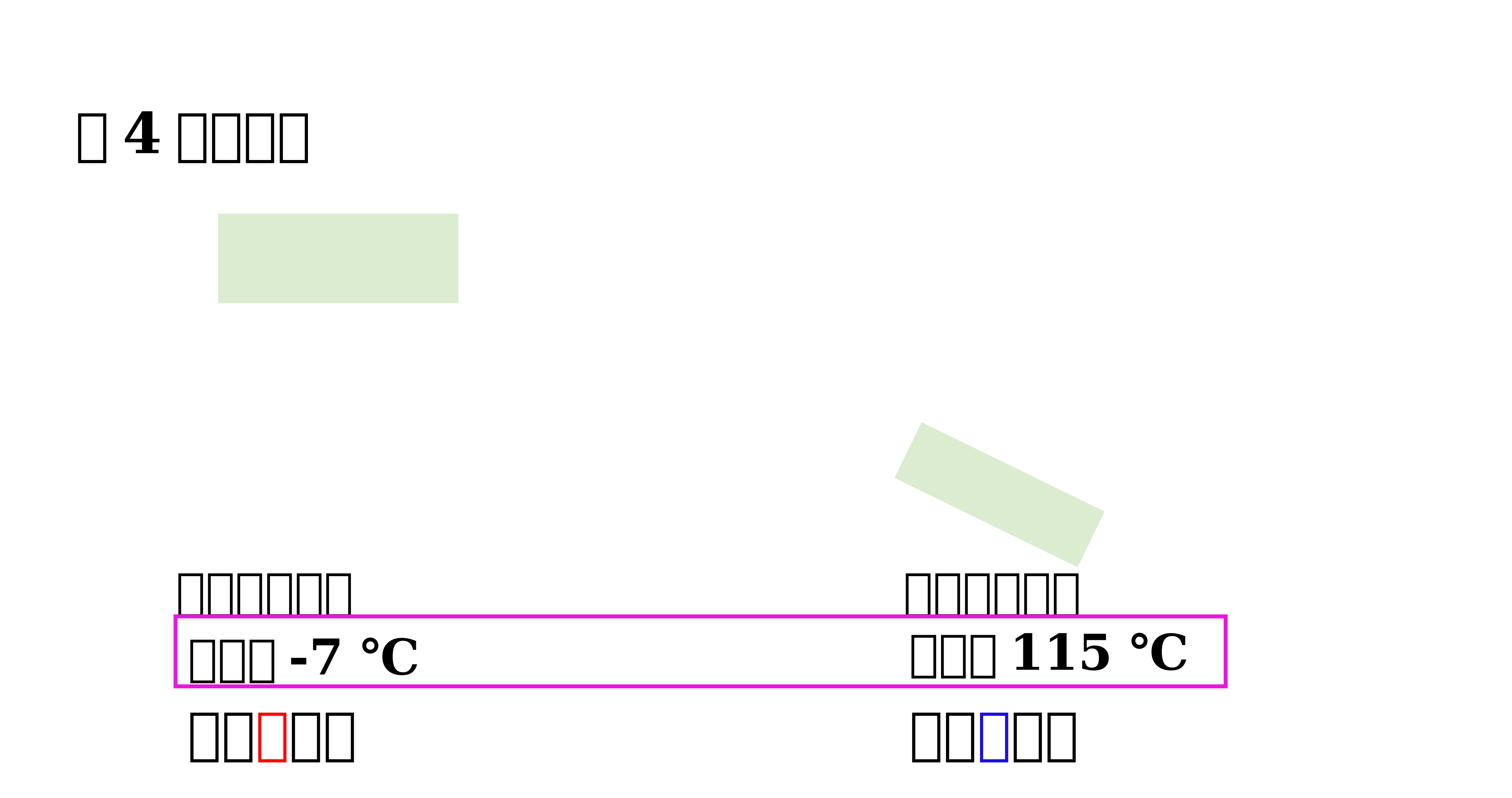




(–)
氢键
(+)
H
O
H
(+)
(–)
(–)
(+)

（4）存在：

邻羟基苯甲醛 对羟基苯甲醛
熔点：-7 ℃ 熔点：115 ℃
分子内氢键 分子间氢键



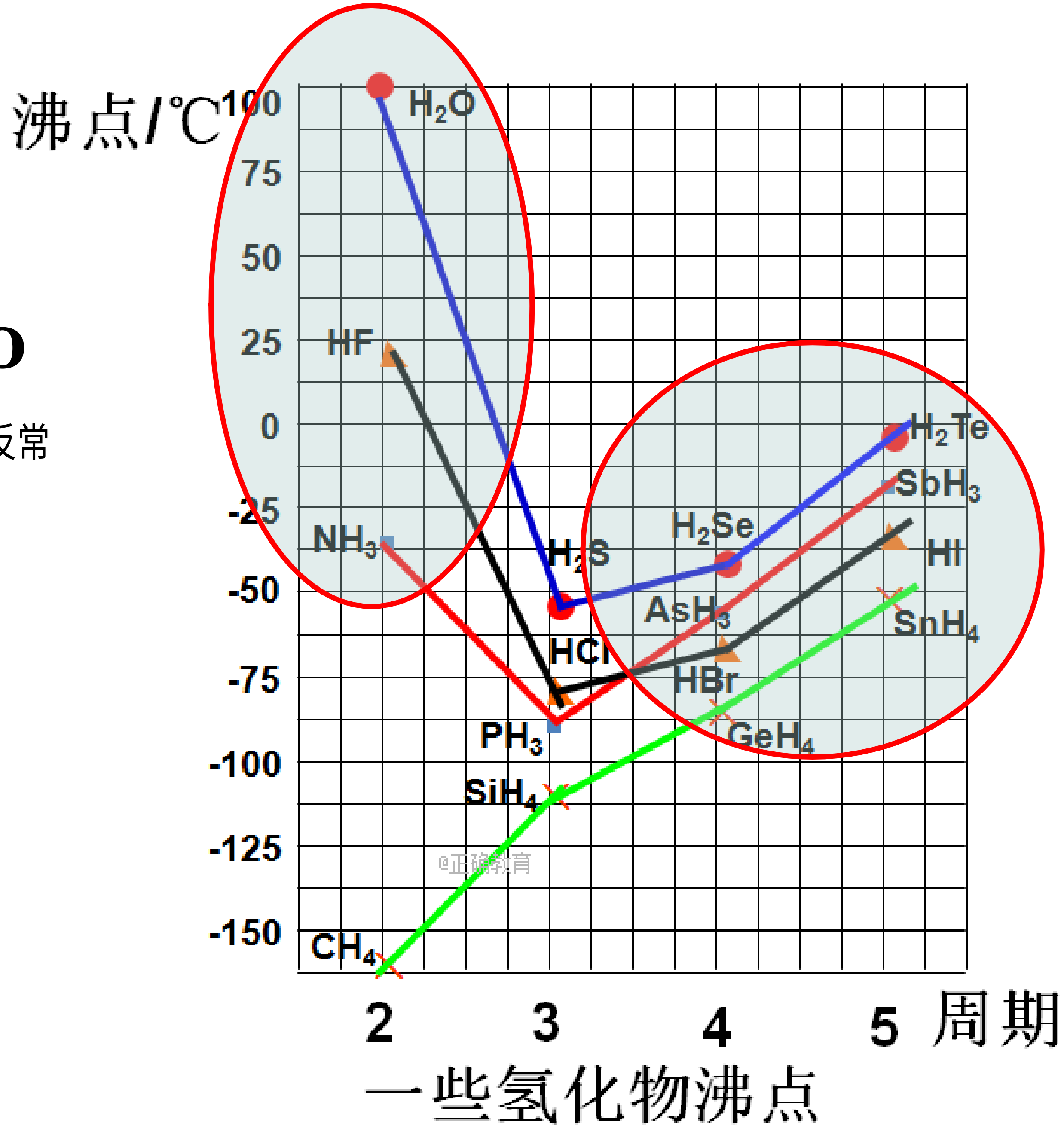
类型	存在	影响
分子间氢键	普遍存在于已经与 **N**、**O**、**F** 形成共价键的氢原子与另外的 **N**、**O**、**F** 原子之间。如 **HF**、**H_2O**、**NH_3** 相互之间，**C_2H_5OH**、**CH_3COOH**、**H_2O** 相互之间。	物质的熔、沸点将升高
分子内氢键	某些物质在分子内也可形成氢键，例如当苯酚在邻位上有**—CHO**、**—COOH**、**—OH** 和**—NO_2** 时，可形成分子内的氢键，组成"螯合环"的特殊结构。	物质的熔、沸点将降低

(5) 物质性质的影响

① 熔沸点

VA~VIA 族元素的氢化物中，NH_3、H_2O 和 **HF** 的熔沸点比同主族相邻元素氢化物的熔、沸点高，这种反常现象是由于它们各自的分子间形成了氢键。

名称	相对分子质量	沸点 /°C
甲醇	32	65
乙烷	30	-89
乙醇	46	78
丙烷	44	-42
正丙醇	60	97
正丁烷	58	-0.5



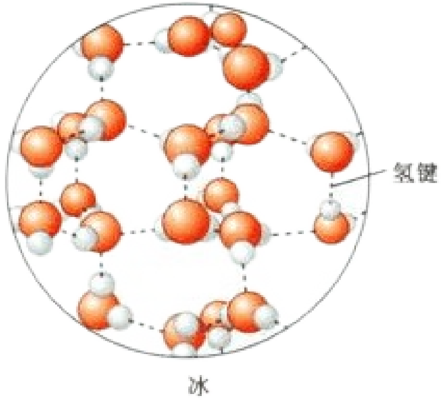
(2) 对水的物理性质的影响

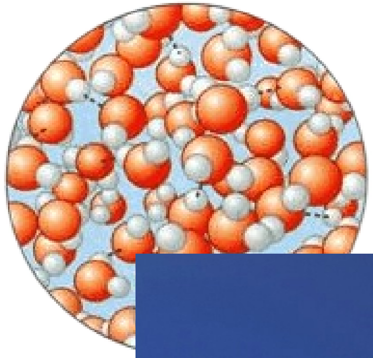
①H_2O 的沸点反常高

② 水结冰后体积膨胀

③ 水在 4°C 的密度最大

④ 接近水沸点的水蒸气的相对分子质量测定值大于 18





常温下液态水中除了含有简单 H_2O 外，还含有通过氢键联系在一起的缔合分子 $(H_2O)_2$ 、$(H_2O)_3$……$(H_2O)_n$ 等。一个水分子的氧原子与另一个水分子的氢原子沿该氧原子的一个 sp^3 杂化轨道的方向形成氢键，因此当所有 H_2O 全部缔合——结冰后，所有的 H_2O 按一定的方向全部形成了氢键，成为晶体，因此在冰的结构中形成许多空隙，体积膨胀，密度减小。故冰的体积大于等质量的水的体积，冰的密度小于水的密度。

(4) 生物大分子中的氢键

DNA 分子有两条链，链内原子之间以很强的共价键结合，链之间则是两条链上的碱基以氢键配对，许许多多的氢键将两条链连成独特的双螺旋结构，这是遗传基因复制机理的化学基础。

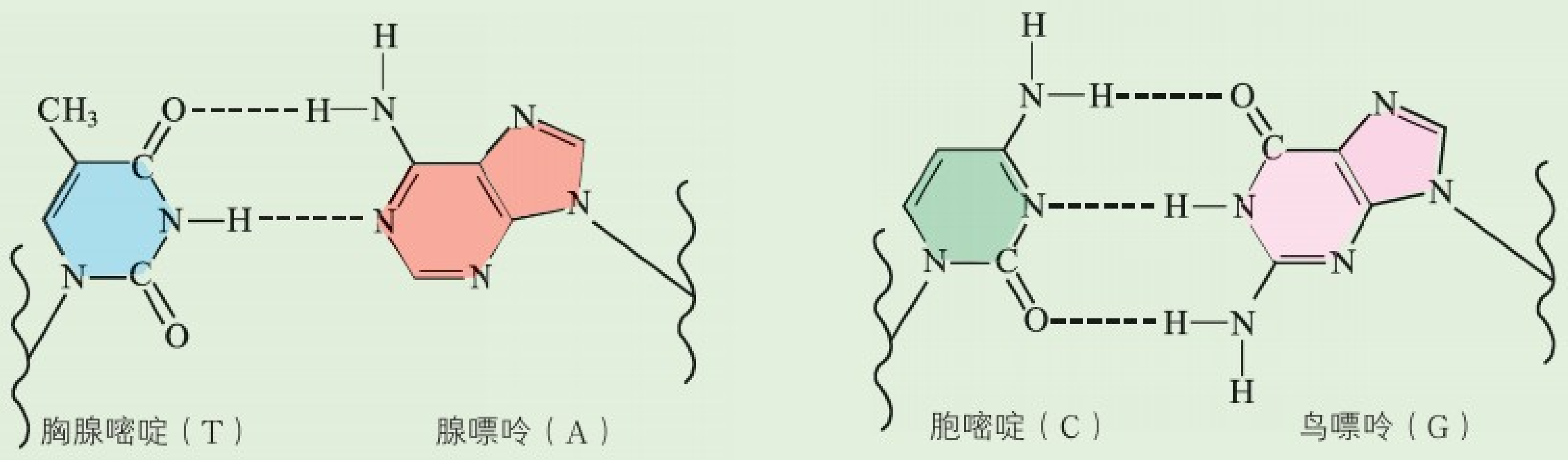
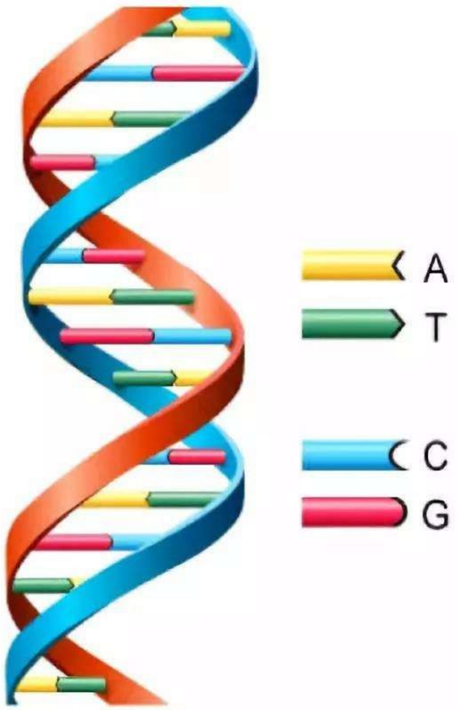


图2-4-7　DNA双螺旋结构中的氢键



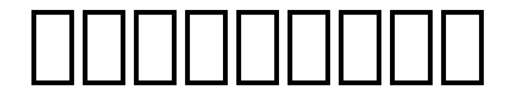
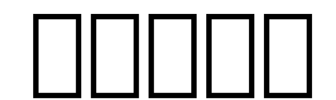
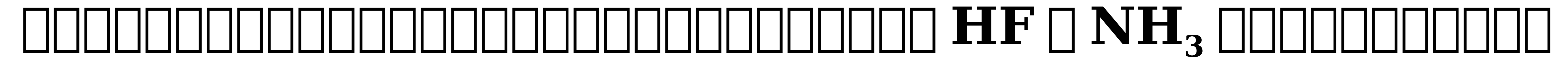
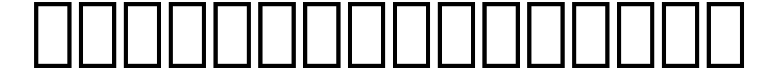


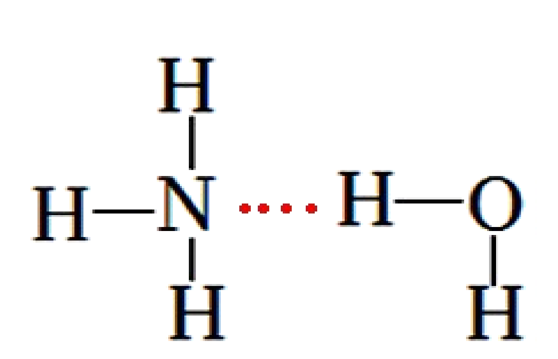
图2-28　蛋白质分子中的氢键（虚线表示氢键）



(1)







物质	溶解性
CH_3CH_3	难溶
CH_3CH_2OH	互溶
CH_3CHO	互溶
CH_3COOH	互溶

$CH_3CH_2—O(—H)\cdots H—O—H$

$H_3C(H)C=O\cdots H—O—H$

$H_3C(H—O)C=O\cdots H—O—H$

(2)“相似相溶”

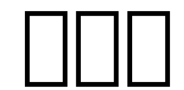
① 非极性溶质更易溶于非极性溶剂

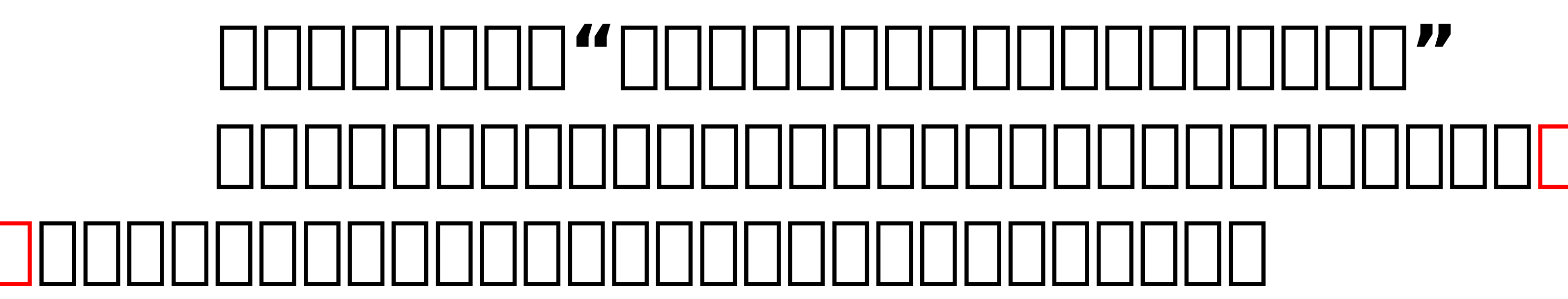
弱极性溶质更易溶于非极性溶剂

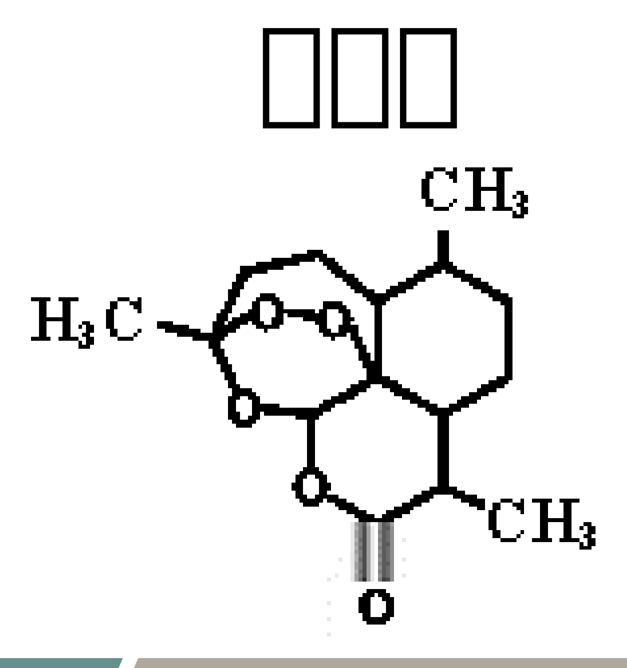
② 极性溶质更易溶于极性溶剂

举例:　　蔗糖、NH_3 易溶于水　　I_2 、萘易溶于 CCl_4

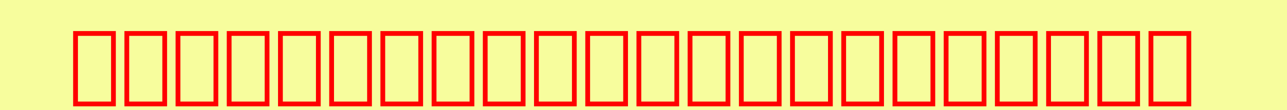
③ 分子结构相近　　乙醇溶于水





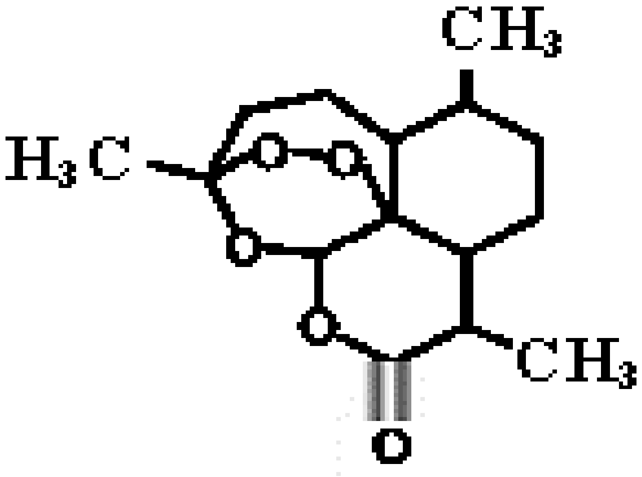


CH3
H3C
O
O
O
O
CH3
O



为什么需要用乙醚来提取青蒿素，用水不可以呢?

$CH_3CH_2—O—CH_2CH_3$乙醚



青蒿素

极性上：青蒿素和乙醚的极性小，所以青蒿素在水中的溶解度小，在乙醚中的溶解度大。

结构上：青蒿素中含有醚键，乙醚中也有醚键。相似相溶!

(3) 发生反应

溶质与溶剂发生反应可增大其溶解度

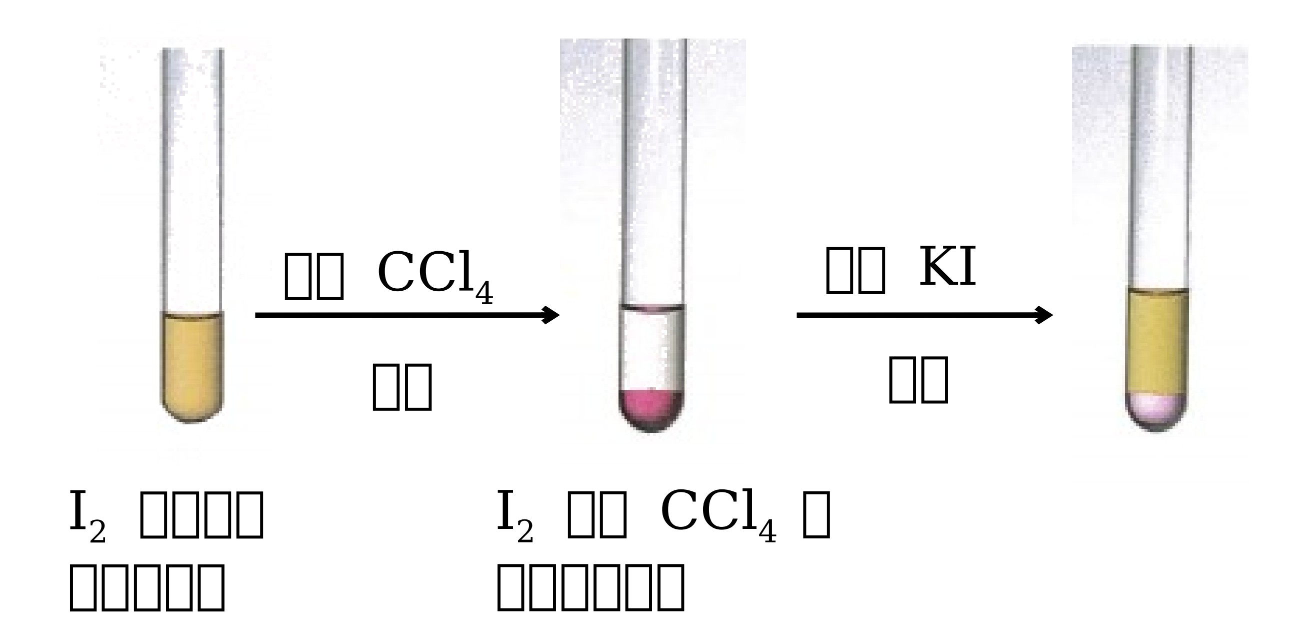
气体的溶解度（常温常压下，在 100 g 水中的溶解度）

气体	溶解度 /g	气体	溶解度 /g
乙炔	0.117	乙烯	0.0149
氨气	52.9	氢气	0.00016
二氧化碳	0.169	甲烷	0.0023
一氧化碳	0.0028	氮气	0.0019
氯气	0.729	氧气	0.0043
乙烷	0.0062	硫化氢	0.3946

溶质与水发生化学反应，可增大其溶解度

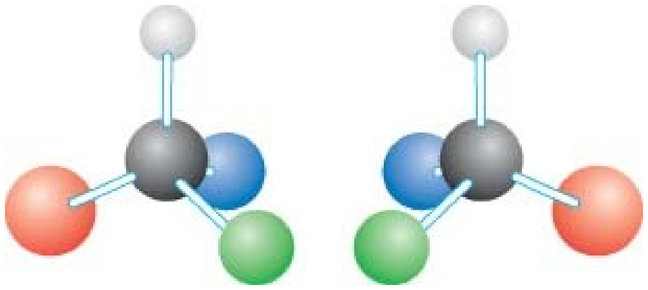
。

分析氨气极易溶于水的原因

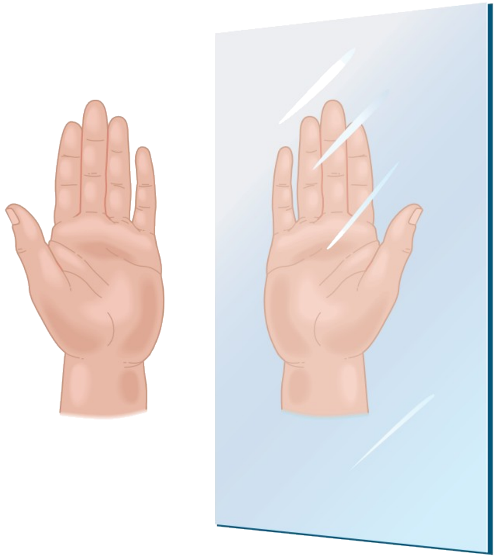

CCl_4
KI
I_2
I_2 CCl_4

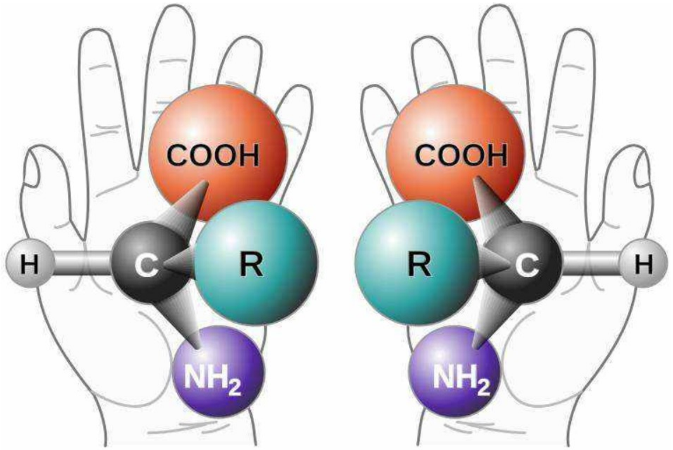
六、分子的手性

试一试：是否叠合？



两个分子互为镜像，不能相互叠合



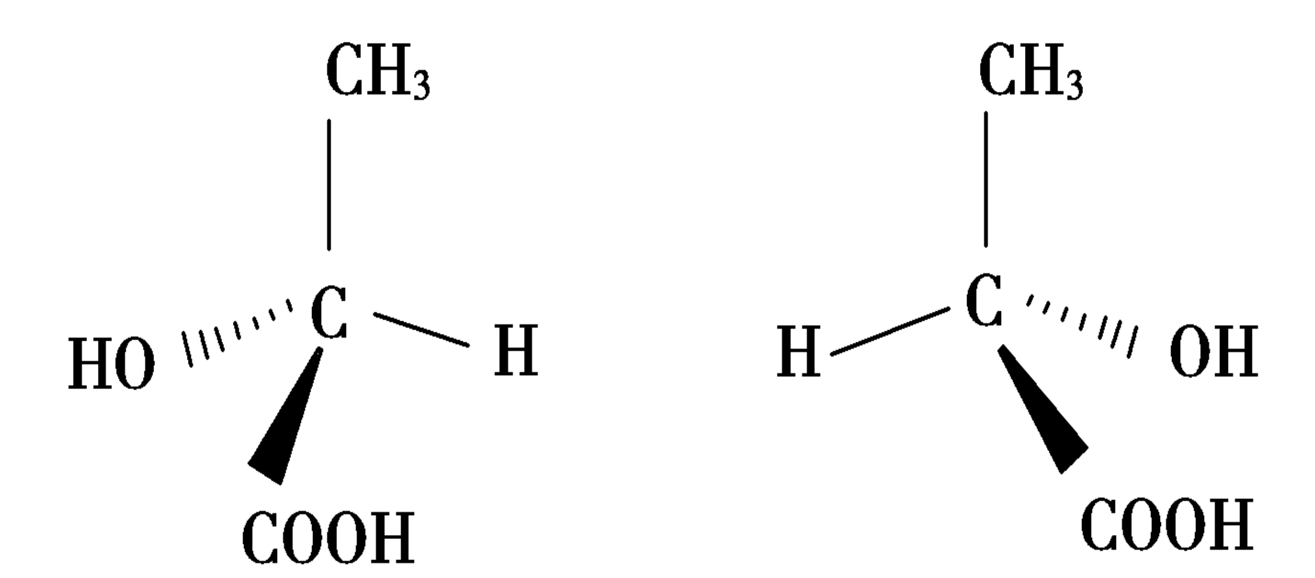


1 、手性异构体

具有完全相同的组成和原子排列的一对分子，如同左手和右手一样互为镜像，却在三维空间里不能叠合，互称手性异构体。（ 或对映异构体）

2、手性分子：有手性异构体的分子

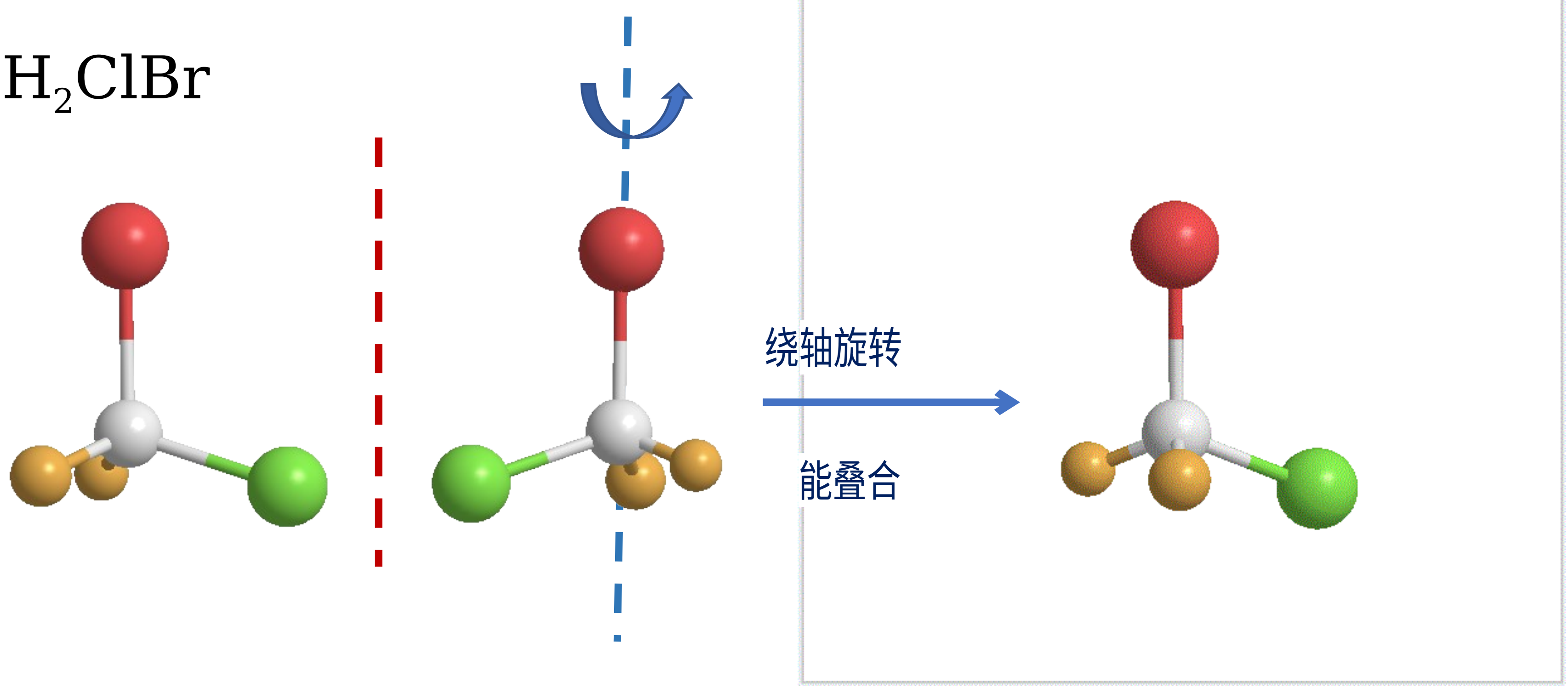
注意：
(1)手性分子的物质不是同一种物质，二者互为同分异构体。
(2)互为手性分子的物质组成、结构几乎完全相同，化学性质几乎完全相同



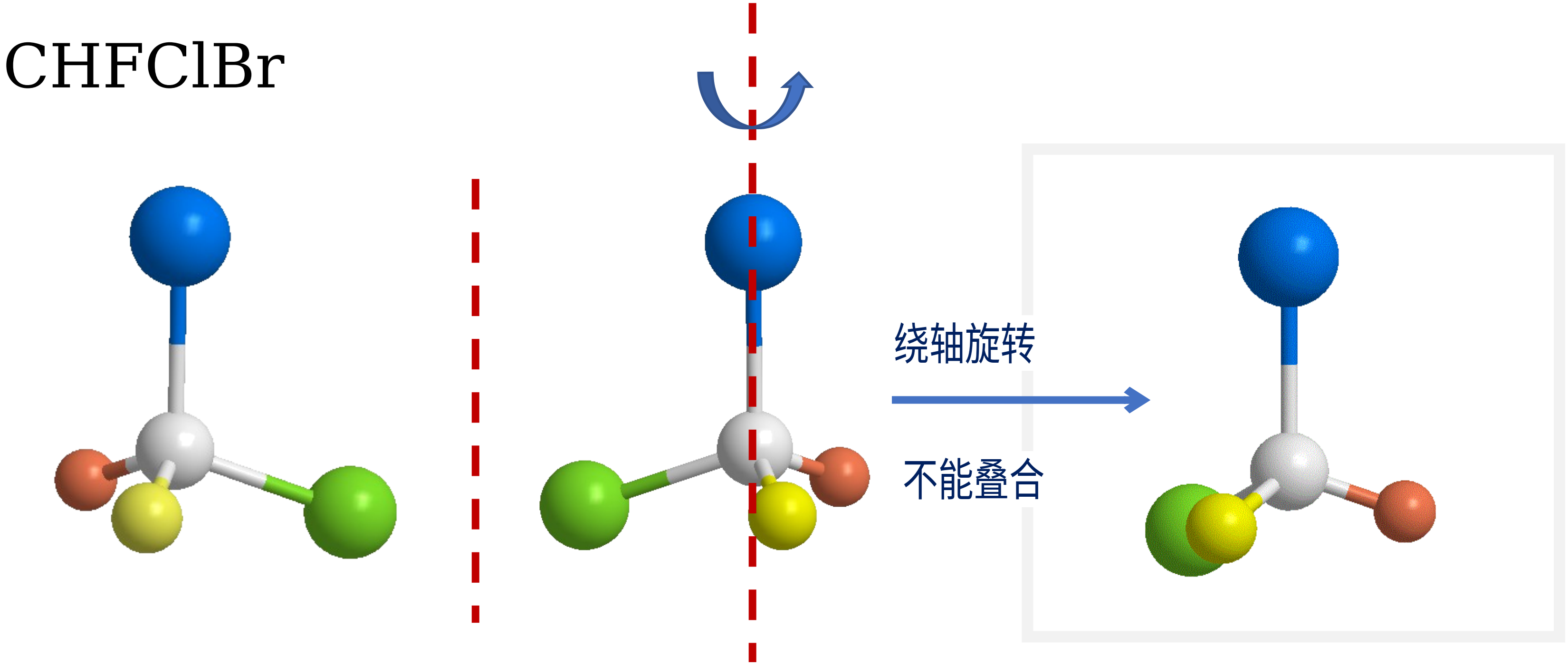
3 、手性分子的判断方法

（ 1 ）观察实物分子与其镜像能否重合，如果不能重合，说明是手性分子。

CH_2ClBr



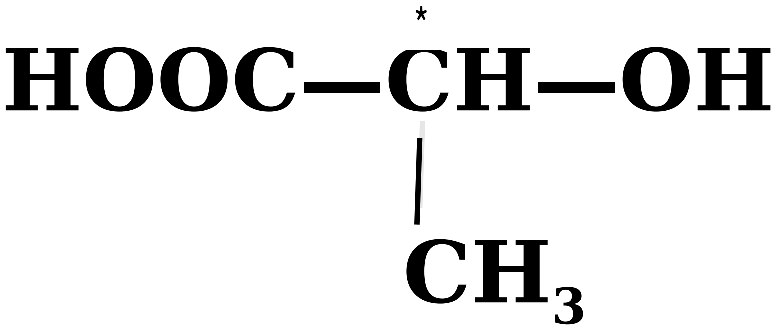
互为镜像关系的分子能叠合，是同种分子。

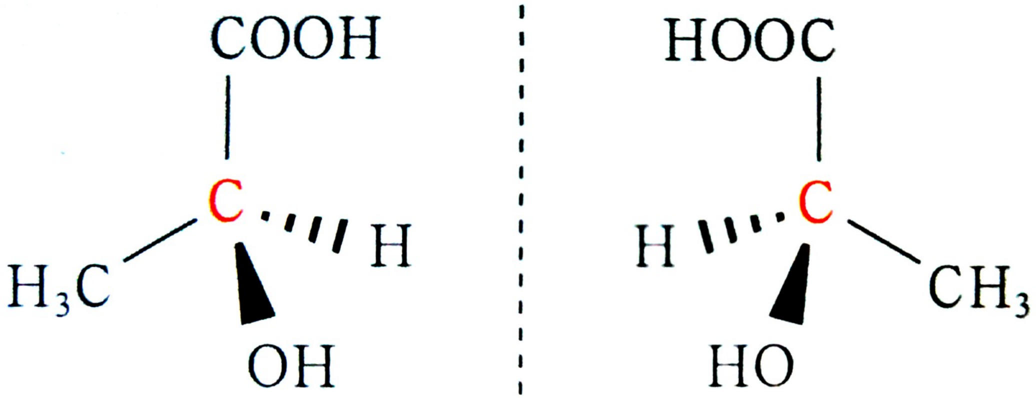


互为镜像关系的分子不能叠合，是手性分子，不是同种分子

（2）观察有机物分子中是否有手性碳原子，如果有一个手性碳原子，则该有机物分子就是手性分子。

手性碳原子：如果一个碳原子所连结的四个原子或原子团各不相同，那么该碳原子称为手性碳原子，记作 $\overset{*}{C}$

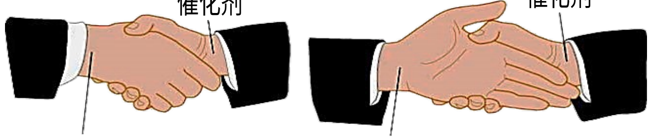




乳酸

注意：手性碳原子是饱和碳原子，含有两个手性碳原子的有机物分子不一定是手性分子。

4. 手性分子的应用:



(1) 合成手性药物

手性分子在生命科学和药物生产方面有广泛的应用。现今使用的药物中手性药物超过 50% 。对于手性药物，一个异构体可能是有效的，而另一个异构体可能是无效甚至是有害的。开发和服用有效的单一手性的药物不仅可以排除由于无效（或不良）手性异构体所引起的毒副作用，还能减少用药剂量和人体对无效手性异构体的代谢负担，提高药物的专一性，因而具有十分广阔的市场前景和巨大的经济价值。

(2) 合成手性催化剂

2001 年，诺贝尔化学奖授予三位用手性催化剂生产手性药物的化学家。用他们的合成方法，可以只得到或者主要得到一种手性分子，这种独特的合成方法称为手性合成。手性催化剂只催化或者主要催化一种手性分子的合成，可以比喻成握手——手性催化剂像迎宾的主人伸出右手，被催化合成的手性分子像客人，总是伸出右手去握手。

归纳小结

作用力类型	范德华力	氢键	共价键
作用微粒	分子	**H** 与 **N**、**O**、**F**	原子
强度比较	共价键＞氢键＞范德华力		
影响因素	组成和结构相似的物质，相对分子质量越大，范德华力越大	形成氢键元素的电负性	原子半径
对性质的影响	影响物质的熔点、沸点、溶解度等物理性质	分子间氢键使熔、沸点升高，溶解度增大	键能越大，稳定性越强（主要影响化学性质）

例 1. 下列事实与氢键有关的是 (　　　　) B

①NH_3 的熔、沸点比 PH_3 的高

② 乙醇、醋酸可以和水以任意比互溶

③ 冰的密度比液态水的密度小

④HCl 比 HI 的沸点低

⑤ 邻羟基苯甲酸的熔、沸点比对羟基苯甲酸的低

A.①②③④⑤　　B.①②③⑤

C.①②③④　　D.①②④⑤

例 **2.** 在 $\mathbf{CO_2}$ 低压合成甲醇反应 $\mathbf{(CO_2 + 3H_2{=}CH_3OH + H_2O)}$ 中，所涉及的 **4** 种物质中，沸点从高到低的顺序为：

$H_2O > CH_3OH > CO_2 > H_2$

原因是:

$\mathbf{H_2O}$ 与 $\mathbf{CH_3OH}$ 均为极性分子，水分子间含氢键比甲醇中多； $\mathbf{CO_2}$ 与 $\mathbf{H_2}$ 均为非极性分子，$\mathbf{CO_2}$ 相对分子质量较大，范德华力较大

1. 过氧化氢 (H_2O_2) 是一种医用杀菌消毒剂，已知 H_2O_2 分子的结构如下图所示。H_2O_2 分子不是直线形，两个 H 原子犹如在半展开的书的两面纸上，书面夹角为 93°52′，而两个 O—H 键与 O—O 键的夹角均为 96°52′。试回答：

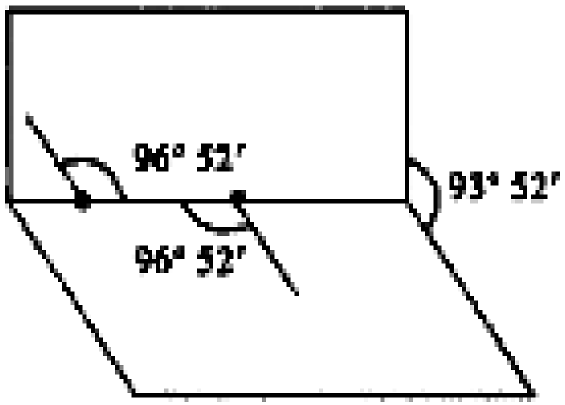
（1）下列关于的说法正确的是 ________ 。 ab

a. 该分子中有极性键

b. 该分子中有非极性键

c. 该分子中氧原子的轨道发生 sp^2 杂化

d. 该分子是非极性分子



（2）H_2O_2 分子间易形成氢键，该氢键的表示式是 ________ 。 O—H…O

（3）H_2O_2 难溶于 CS_2，主要原因是 ________ 。 H_2O_2 为极性分子，CS_2 为非极性分子

（4）H_2O_2 易溶于水，主要原因是 ________ 。 H_2O_2 易与 H_2O 分子间形成氢键且 H_2O 和 H_2O_2 均为极性分子

2. 试用有关知识解释下列现象：

(1) 乙醚 **($C_2H_5OC_2H_5$)** 的相对分子质量远大于乙醇，但乙醇的沸点却比乙醚高很多，原因：

乙醇分子之间形成的氢键作用远大于乙醚分子间的范德华力，故沸点比乙醚高很多

(2) 从氨合成塔里出来的 H_2 、N_2 、NH_3 的混合物中分离出 NH_3 ，常采用加压使 NH_3 液化的方法：

NH_3 分子间可以形成氢键，而 N_2 、H_2 分子间的范德华力很小，故 NH_3 可采用加压液化的方法从混合物中分离

(3) 水在常温下，其组成的化学式可用 $(H_2O)_m$ 表示，原因:

常温下，液态水中水分子间通过氢键缔合成较大分子团，所以用 $(H_2O)_m$ 表示，而不是以单个分子形式存在

3. 下列现象与氢键有关的是 ①②③⑤

①HF 的熔、沸点比ⅦA 族其他元素氢化物的高

② 乙醇可以和水以任意比互溶

③ 冰的密度比液态水的密度小

④ 水分子高温下也很稳定

⑤ 邻羟基苯甲酸的熔、沸点比对羟基苯甲酸的低